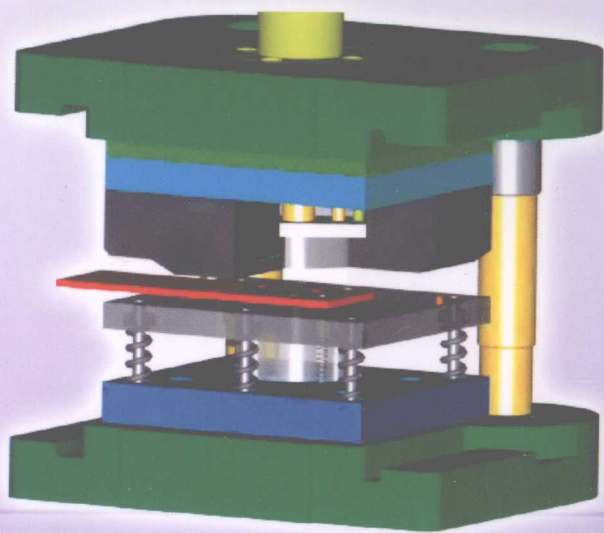


高职高专模具设计与制造规划教材

冲压工艺 与冲压模设计

沈言锦 周美容 袁凯峰 主编



中国物资出版社

高职高专模具设计与制造规划教材

冲压工艺与冲压模设计

沈言锦 周美容 袁凯峰 主编

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

冲压工艺与冲压模设计/沈言锦, 周美容, 袁凯峰主编. —北京: 中国物资出版社, 2008. 9

高职高专模具设计与制造规划教材

ISBN 978 - 7 - 5047 - 2869 - 2

I. 冲… II. ①沈…②周…③袁… III. ①冲压—工艺—高等学校: 技术学校—教材②冲模—设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 067420 号

责任编辑 秦理曼

责任印制 何崇杭

责任校对 孙会香

中国物资出版社出版发行

网址: <http://www.clph.cn>

社址: 北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010) 68589540 邮编: 100834

全国新华书店经销

中国农业出版社印刷厂印刷

开本: 710mm × 1000mm 1/16 印张: 28.5 字数: 606 千字

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5047 - 2869 - 2/TG · 0073

印数: 0001—3000 册

定价: 46.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

前 言

本书是根据教育部“关于加强高职高专教育教材建设的若干意见”和“模具设计与制造”专业教学计划及“冲压工艺与冲压模设计”的课程教学大纲编写的，是高职高专“模具设计与制造”专业的教学用书。

本书从冲压生产全局考虑，系统阐述冲压变形的基本原理、冲模设计基础知识、冲裁工艺与冲裁模设计、弯曲工艺与弯曲模设计、拉深工艺与拉深模设计、其他冲压成形工艺与模具设计、大型覆盖件的成形工艺与模具设计、冷挤压工艺与模具设计、冲压工艺规程的编制、多工位精密级进模设计、经济型冲压模具设计、冲压模具材料与模具寿命等方面的内容，在系统、全面的前提下，突出重点而实用的技术。同时，尽量多地编入常用的数据与图表，以满足不同读者的需要。本书在选材上，力求既延续传统的冲压工艺内容体系，又反映当今冲压与模具技术的最新成果和先进经验。在编写上，注重理论与实践相结合，采用文字阐述与图形相结合，突出模具设计重点和典型结构实例，以方便读者使用。

本书由株洲职业技术学院沈言锦、永州职业技术学院周美容、桂林航天工业高等专科学校袁凯峰担任主编，湖南化工职业技术学院孟少明、湖南电气职业技术学院董利、湘潭第一职业学校张小龙、衡阳财经工业职业技术学院陆元三、株洲职业技术学院程文、桂林航天工业高等专科学校曹轶杰担任副主编，全书由湘潭大学洪波教授主审，此外参加编写的人员还有株洲第一职业学校的张坤等。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

编 者
2008. 8

编辑委员会

主 编 沈言锦 株洲职业技术学院
周美容 永州职业技术学院
袁凯峰 桂林航天工业高等专科学校

副主编 陆元三 衡阳财经工业职业技术学院
孟少明 湖南化工职业技术学院
张小龙 湘潭第一职业学校
董 利 湖南电气职业技术学院
程 文 株洲职业技术学院
曹轶杰 桂林航天工业高等专科学校

主 审 洪 波 湘潭大学

绪 论	(1)
第一节 冲压加工的概念、特点及其应用	(1)
第二节 冷冲压的现状和发展方向	(2)
第三节 冷冲压基本工序的分类	(3)
第一章 冲压变形的基本原理	(6)
第一节 金属塑性变形的基本概念	(6)
第二节 塑性变形的力学基础	(7)
第三节 各种冲压成形方法的力学特点和分类	(11)
第四节 板料的冲压成形性能及冲压材料	(14)
第二章 冲模设计基础知识	(23)
第一节 冲压设备的分类与型号规格	(23)
第二节 曲柄压力机	(24)
第三节 摩擦压力机	(30)
第四节 液压机	(31)
第五节 冷冲压模具的分类与基本结构	(35)
第三章 冲裁工艺与冲裁模设计	(38)
第一节 冲裁过程分析	(38)
第二节 冲裁模间隙与冲裁件断面质量	(40)
第三节 凸模与凹模刃口尺寸的计算	(45)
第四节 排样设计	(51)
第五节 冲裁力及压力中心的计算	(61)
第六节 冲裁件的工艺性	(68)
第七节 冲裁模的结构设计	(71)
第八节 冲裁模零部件的结构设计和冲模标准的选用	(92)
第九节 精密冲裁工艺及精冲模具设计简介	(129)

第十节	冲裁模设计步骤	(138)
第四章	弯曲工艺与弯曲模设计	(142)
第一节	弯曲变形过程及变形特点	(142)
第二节	弯曲件质量的分析	(147)
第三节	弯曲件毛坯长度的计算	(159)
第四节	弯曲力的计算	(161)
第五节	弯曲件的工序安排	(162)
第六节	弯曲件的工艺设计	(165)
第七节	弯曲模工作部分结构参数的确定	(169)
第八节	典型弯曲模的结构	(173)
第五章	拉深工艺与拉深模设计	(184)
第一节	拉深质量分析	(184)
第二节	直壁旋转体零件拉深工艺的设计	(191)
第三节	非直壁旋转体零件拉深成型的设计	(209)
第四节	盒形件的拉深设计	(213)
第五节	拉深工艺设计	(221)
第六节	拉深模具设计	(227)
第七节	其他拉深方法	(236)
第八节	拉深的辅助工序	(242)
第六章	其他冲压成形工艺与模具设计	(247)
第一节	校平与整形	(247)
第二节	翻孔与翻边	(250)
第三节	缩口	(256)
第四节	胀形	(259)
第七章	大型覆盖件的成形工艺与模具设计	(268)
第一节	覆盖件的成形特点和主要成形障碍	(269)
第二节	覆盖件冲压成形的工艺设计	(286)
第三节	覆盖件成形模具的典型结构和主要零件设计	(294)
第八章	冷挤压工艺与模具设计	(316)
第一节	冷挤压的概念	(316)
第二节	冷挤压的变形程度	(319)

第三节 冷挤压压力的确定	(321)
第四节 冷挤压的工艺设计	(326)
第五节 冷挤压模具的设计	(331)
第九章 冲压工艺规程的编制	(340)
第一节 冷冲压模具设计的基本内容和一般程序	(340)
第二节 工艺规程制定的实例	(348)
第十章 多工位精密级进模设计	(359)
第一节 概 述	(359)
第二节 多工位精密级进模的排样设计	(368)
第三节 多工位精密级进模主要工位及零部件的设计	(384)
第四节 多工位精密级进模设计实例	(400)
第十一章 经济型冲压模具设计	(412)
第一节 锌基合金模	(412)
第二节 聚氨酯橡胶模	(419)
第三节 通用冲模和组合冲模	(424)
第十二章 冲压模具材料与模具寿命	(429)
第一节 冲压模具的失效形式	(429)
第二节 冲压模具的材料	(436)
参考文献	(442)
附 录	(443)
附录 A 黑色金属的机械性能	(443)
附录 B 几种主要冲压设备的规格	(444)
附录 C 冲压模零件的加工精度及其相互配合	(445)
附录 D 冲压模零件的表面粗糙度	(446)

绪 论

第一节 冲压加工的概念、特点及其应用

冲压加工是利用安装在冲压设备上的模具对材料施加压力，使其产生塑性变形或分离，从而获得所需形状、尺寸和性能的一种压力加工方法。因为冲压加工常是在常温下进行的，而且加工的对象常是板料，所以也被称为冷冲压或板料冲压。冲压加工在材料塑性加工和板料压力加工中占据着举足轻重的地位。

在压力加工中所使用的模具称为冲压模，简称冲模。冲模是使材料发生分离或变形的模型或工具，是冲压加工中关键的工艺装备，没有符合要求的冲模，批量冲压加工就难以进行；没有先进的冲压模具，先进的冲压工艺就无法实现。

此外，在冲压零件的生产中，冲压成形的工艺和冲压设备也是非常重要的，所以，正确合理的冲压成形工艺、精密的模具、高效的设备是冲压生产中必不可少的三要素。

冲压加工主要是靠模具和压力机来完成压力加工的，所以与机械加工和塑性加工的其他方法相比，冲压加工无论是在技术方面还是在效率方面都具有很多独特的优点，具体体现在以下方面：

(1) 效率高。冲压加工是依靠冲模和冲压设备来完成压力加工的，一般压力机的行程次数为每分钟几十次，高速压力机的行程可达每分钟几百次甚至几千次，效率高，操作方便，而且易于实现自动化和机械化，是一种高效率的加工方法。

(2) 互换性好。冲压件的尺寸精度是靠模具的精度来保证的，由于模具的寿命一般都很长，冲压件的质量很稳定，互换性好，具有“一模一样”的特征。

(3) 加工范围广。利用冲压加工，可以获得其他加工所不能或难以制造的薄壁、质轻、形状复杂的零件，如大到汽车纵梁、覆盖件，小到钟表的秒针都可以利用冲压加工来生产。

(4) 成本低。冲压加工不像切削加工那样，需要切削大量金属，材料的消耗比较少，而且一般不需要加热设备，因此是一种省料、节能、低成本的加工方法。

但是，冲压模也具有一些局限性，如冲压模是一种专用性的装备，而且模具

的形状比较复杂、精度高、技术要求高，所以一般只有在批量较大的情况下，冲压加工的优点才可以充分体现，才能获得很好的经济效益。

综上所述，冲压加工与其他加工方法相比，具有独特的优点，所以在大批量的工业生产中，应用非常广泛。在很多的工业部门中，例如汽车、电极、电器、拖拉机、仪器、仪表、电子等，采用冷冲压加工的产品零部件所占的比重都相当大。另外，过去不少锻造、铸造、切削加工方法制造的零部件也越来越多地被刚度高、质量好的冲压件取代，大大地提高了生产率和生产质量，也降低了成本。

第二节 冷冲压的现状和发展方向

随着现代工业的发展，工业部门对冲压零件的形状和质量要求越来越高，因而也促进了冷冲压技术的迅速发展，主要体现在以下几个方面：

一、冲压工艺

提高生产率及产品质量，降低成本和扩大冲压工艺范围是冲压工艺研究和发展的方向。

目前，国内外涌现并迅速应用于生产的先进冲压工艺有冷挤压、精密冲压、柔性模（软模）成形、超塑性成形、无模多点成形、爆炸和电磁等，这些先进技术在实际生产中已经取得并将进一步取得良好的技术经济效果。

冷挤压是一种生产效率高、产品质量好的先进加工工艺。用冷挤压加工的零件一般不需要或只需要进行少量的切削加工，在提高生产率和产品质量方面具有显著的技术经济效果。目前，冷挤压不但用于有色金属零件的生产，还用于黑色金属零件的生产。

精密冲裁既是提高冲压件精度的有效方法，又是扩大冲压加工范围的重要途径。目前，精密冲裁加工零件的厚度已达 25mm，冲裁的精度可以达 IT6 ~ IT7，其加工的范围也越来越广，不但可以冲裁，还可以成形精密弯曲、拉深、翻边、冷挤压、压印等，而且一部分过去用切削加工方法生产的零件现在也改为精密冲裁方法加工。

用液体、橡胶、聚氨酯等做柔软形凸模或凹模代替刚性凸模或凹模，对板料进行冲压，可以成形出以普通冲压难以成形的材料和形状复杂的零件，并可以大大改善成形条件，提高极限变形程度。

超塑性成形方法是利用金属在特定的条件下具有超常的塑性，一次成形能替代多次常规成形工序，在提高生产率和产品精度，解决一些特殊产品的生产方面具有重要意义。

二、冲模设计与制造

以汽车覆盖件模具为代表的大型冲压模具的制造技术已取得很大进步，东风汽车公司模具厂、一汽模具中心等模具厂家已能生产部分轿车覆盖件模具，在设

计制造方法和技术手段方面不断改善,在轿车模具国产化方面迈出了可喜的步伐。

多工位级进模和多功能模具是我国重点发展的精密模具品种。目前,国内已能够制造具有自动冲切、叠压、铆合、计数、分组、转子铁芯扭斜和安全保护等功能的铁芯精密自动叠片多功能模具。生产的电机定转子双回转叠片硬质合金级进模的步距精度可达 $2\mu\text{m}$,寿命达到1亿次以上。其他的多工位级进模,如用于集成电路引线框架的20~30工位的级进模、用于电子枪零件的硬质合金级进模和空调器散热片的级进模,也已达到较高的水平。

三、冲压设备及生产自动化

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件。高效率、高精度、长寿命的冲压模具需要高精度、高自动化的冲压设备与之相匹配;为了满足新产品小批量生产的需要,冲压设备朝多功能、数控方面发展;为了适用冲压新工艺的需要,研制了许多新型结构的冲压设备;为了提高生产率和安全生产,应用各种自动化装置、机械手乃至机器人的冲压自动生产线和高速自动压力机纷纷投入使用。代表着冲压生产新技术趋势的冲压柔性制造单元(FMC)和冲压柔性制造系统(FMS)在我国已广泛使用。

四、成形工艺与理论的研究

近年来,冲压成形工艺有很多新的进展,冲压件的精度日趋精确,生产率也有极大提高,正在把冲压加工提高到高品质的发展水平。前几年的精密冲压主要是指对平板零件进行精密冲裁,而现在,除了精密冲裁外还可兼有精密弯曲、拉深、压印等,可以进行复杂零件的立体精密成形。过去的精密冲裁只能对厚度为5~8mm及以下的中板或薄板进行加工,而现在可以对厚度达25mm的厚板实现精密冲裁,并可对 $\sigma_b > 900\text{MPa}$ 的高强度合金材料进行精冲。

由于引入了CAE,冲压成形已从原来的对应力应变进行有限元等分析而逐步发展到采用计算机进行工艺过程的模拟与分析,以实现冲压过程的优化设计。在冲压毛坯设计方面也开展了计算机辅助设计,可以对排样或拉深毛坯进行优化设计。

此外,对冲压成形性能和成形极限的研究,冲压件成形难度的判定以及成形预报等技术的发展,均标志着冲压成形已经从原来的经验、实验分析阶段开始走上由冲压理论指导的科学阶段,使冲压成形走向计算机辅助工程化和智能化的发展道路。

第三节 冷冲压基本工序的分类

冷冲压的零件的几何尺寸、形状以及其精度各不相同,因而加工方法也不相同。概括起来可以分为分离工序与成形工序两大类。分离工序就是将工件沿着一

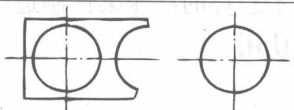
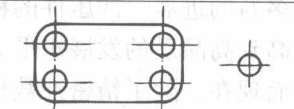
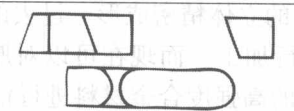
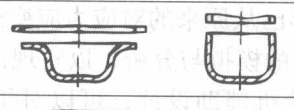
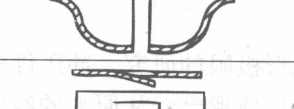
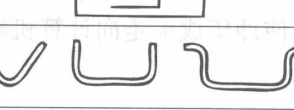



定的轮廓相互分离；而成形工序则是在材料不破坏的前提下使毛坯材料产生塑性变形，从而形成所需的零件。

根据冷冲压加工工序的特点，冷冲压工序可以分为五个基本工序：

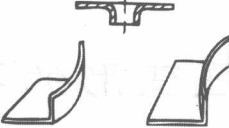

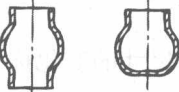

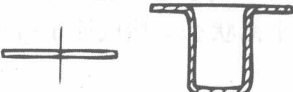
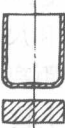
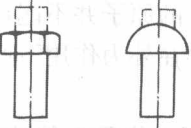
- (1) 冲裁。实现使板料分离的工序。
- (2) 弯曲。使板料弯成一定的角度和形状的工序。
- (3) 成形。用各种不同性质的局部变形来改变毛坯形状，使之与零件形状相符合。
- (4) 拉深。使板料变成各种形状的空心件的工序。
- (5) 体积成形。使金属材料体积重新分布的工序。

每一种基本工序又包括几种不同的细分工序，各工序的分类，工序名称、特点及工作简图如下表所示。

冷冲压工序的分类

类别	组别	工序名称	工序简图	特 点
分离 工序	冲裁	落料		将板料沿封闭轮廓分离，切下部分是工件
		冲孔		将板料沿封闭轮廓分离，切下部分是废料
		切断		将板料沿不封闭的轮廓分离
		切边		将工件边缘的多余材料冲切下来
		剖切		将冲压成形的半成品切开成为两个或数个工件
		切舌		沿不封闭轮廓，将部分板料切开并使其下弯
变形 工序	弯曲	压弯		将材料沿弯曲曲线弯成各种角度和形状
		卷边		将条料端部弯曲成接近封闭的圆筒形
	拉深	拉深		将板料毛坯冲制成各种开口的空心件

续 表

类别	组别	工序名称	工序简图	特 点
变形 工序	成 形	翻边		将工件的孔边缘或工件的外缘翻成竖立的边
		缩口		使空心件或管状毛坯的径向尺寸缩小
		胀形		使空心件或管状毛坯向外扩张, 胀出所需的凸起曲面
		起伏成形		在板料或工件的表面上制成各种形状的凸起或凹陷
		校形		将翘曲的平板件压平或将成形件不准确的地方压成准确形状
立体 压制		冷挤压		使金属沿凸、凹模间隙或凹模模口流动, 从而使原毛坯转变为薄壁空心件或横断面不等的半成品
		顶镦		将杆状坯料局部镦粗



思考与练习

1. 什么是冷冲模?
2. 冲压加工与其他加工方法相比, 具有哪些独特的优点?
3. 冲压生产过程的主要特征是什么?
4. 冷冲压基本工序的分类有哪些?

第一章 冲压变形的基本原理

第一节 金属塑性变形的基本概念

在外力作用下，金属产生形状与尺寸的变化称为变形，它分为弹性变形和塑性变形。

一、塑性变形的物理概念

所有的固体金属都是晶体，原子在晶体所占的空间内有序排列。在没有外力作用时，金属中的原子处于稳定的平衡状态，金属物体具有自己的形状与尺寸。施加外力，会破坏原子间原来的平衡状态，造成原子排列畸变，引起金属形状与尺寸的变化。

假如除去外力，金属中的原子立即恢复到原来稳定平衡的位置，原子排列畸变消失，金属完全恢复了自己的原始形状和尺寸，则这样的变形称为弹性变形。增加外力，原子排列畸变程度增加，移动距离有可能大于受力前的原子间距离，这时晶体中一部分原子相对于另一部分产生较大的错动。外力除去以后，原子间的距离虽然仍可恢复原状，但错动了的原子并不能再回到其原始位置，金属的形状和尺寸也都发生了永久改变。这种在外力作用下产生不可恢复的永久变形称为塑性变形。

受外力作用时，原子总是离开平衡位置而移动。因此，在塑性变形条件下，总变形既包括塑性变形，也包括除去外力后消失的弹性变形。

二、塑性变形的基本形式

先了解单晶体的变形规律，单晶体的塑性变形主要通过滑移和孪生方式进行。

1. 滑移

滑移是晶体的一部分沿一定的晶面（滑移面）和晶向（滑移方向）相对于另一部分做相对移动。由阻力最小定律可知，滑移总是沿原子排列最密面的最密排的方向进行。一种滑移面及其面上的一个滑移方向组成一个滑移系。晶体的滑移系越多，则可能出现的滑移位向越多，金属的塑性也越好。晶体的滑移是通过位错的移动而产生的，并不需要整个滑移面上的全部原子一齐移动，而只是在位错中心附近的少数原子发生移动，且它们的移动距离小于一个原子间距，故通过

位错移动的滑移所需应力要小得多。滑移会在宏观上形成滑移线和滑移带。

2. 孪生

孪生是晶体一部分相对另一部分，对应于一定的晶面（孪晶面）沿一定方向发生转动的结果。孪生时，晶体变形部分中所有与孪晶面平行的原子平面均向同一方向移动，移动距离与该原子面距孪晶面之距离成正比。虽然相邻原子间的位移只有一个原子间距的几分之一，但许多层晶面积累起来便可形成比原子间距大许多倍的变形。金属的临界孪生剪切应力比临界滑移剪切应力大得多，只有在滑移过程很困难时，晶体才发生孪生。孪生对变形过程的直接贡献不大，但是孪生后由于晶体转至新位向，将有利于滑移，因而使金属的变形能力得到提高。滑移和孪生二者往往交替进行。

3. 多晶体塑性变形

实际使用的金属都是多晶体，由大小、形状、位向都不完全相同的晶粒组成，各晶粒之间由晶界相连接。多晶体塑性变形包括晶内变形和晶间变形。

(1) 晶内变形。单就一个晶粒来说，其晶内塑性变形方式同单晶体。多晶体在受到外力作用时，塑性变形首先发生在位向最有利的晶粒中。随着外力增加，作用在位向不太有利的滑移面上的切应力达到了塑性变形所需要的数值，塑性变形开始遍及越来越多的晶粒。各晶粒的变形先后不一致，变形量不一致，在同一晶粒内变形也不一致，这就造成了多晶体变形的不均匀性。

(2) 晶间变形。多晶体中各晶粒之间在外力的作用下发生相互移动和转动，即晶间变形。对于塑性较差的材料，其晶间结合力弱，晶粒之间的相对移动会破坏晶界面，降低晶粒之间的机械嵌合，易于导致金属的破裂。

多晶体塑性变形后会引起下述组织改变：

(1) 纤维组织。晶粒沿最大变形方向伸长，形成纤维状的晶粒组织，即纤维组织。

(2) 变形结构。塑性变形过程中晶粒形状变化的同时，部分晶粒在空间发生转动，使滑移面转动方向趋于一致，形成变形结构。

具有变形结构的金属，各晶粒的位向接近，力学性能、物理性能等明显地出现各向异性，对其工艺性能和使用都有很大的影响。例如，冷轧钢板具有变形结构组织，在拉深过程中各方向的变形不等，得到的拉深件在口部不平整。

第二节 塑性变形的力学基础

金属在塑性成形时，受力和变形情况非常复杂，反映在其内部质点上的应力状态和应变状态必然也各不相同。因此，研究变形力学条件对塑性的影响，实质上就是研究应力状态和应变状态对塑性的影响。

一、点的应力状态

一般说来，由于各个部位的变形不一样，变形毛坯体内各质点的变形和受力状态是不相同的。通常将质点的受力状态称为点的应力状态。一点的应力状态可用一个平行六面体（单元体）来表示，见图 1-1 (a)，将各应力分量均表示在前 3 个可视面（即 x 面、 y 面、 z 面）上，而后 3 个不可视面上的应力分量应与前 3 个面上对应的应力分量大小相等、方向相反，是一组对称力，一般不予表示。每个面上有一个正应力、两个剪应力，共 9 个应力分量，再考虑剪应力的互等性（ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ， $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ， $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ ），则仅有 6 个独立的应力分量；正应力分量方向的含义是，如果箭头背离平行六面体，符号为正，为拉应力；反之，如果箭头指向平行六面体，符号为负，为压应力。对同一点应力状态，6 个应力分量的大小与所选坐标有关，不同坐标系所表现的 6 个应力分量的数值是不同的。存在这样一个（仅有一个）坐标系，按该坐标系做平行六面体，则应力分量只有 3 个正应力分量，而无剪应力分量，那么称这 3 个正应力为主应力，称该坐标系为主坐标系，3 个坐标轴为主应力轴，见图 1-1 (b)。

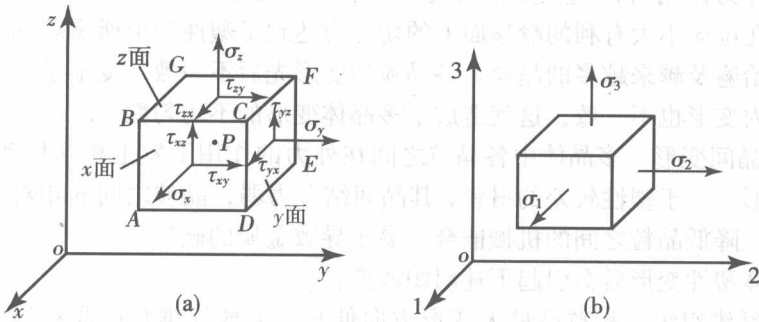


图 1-1 质点的应力状态示意图

如果用主坐标系表示质点的应力状态，即单元体上仅有正应力，而无剪应力；换言之，仅承受拉应力或压应力，则可将主应力状态分为如图 1-2 所示的 9 种类型。图中，第一行为单向应力状态：单向拉和单向压；第二行为两向应力状态，或称做平面应力状态：两向拉、两向压或一拉一压；第三行为三向应力状态，或称做复杂应力状态：三向拉、三向压、一压两拉或一拉两压。在一般情况下，单元体的三个主方向都有应力，这种应力状态称为三向应力状态。但在板料成形中，厚度方向的应力与其他两个方向的应力比较，往往可以忽略不计，因而，可以把厚度方向应力看做零。这种应力状态就可以视为平面应力状态。

二、点的应变状态

一般说来，由于各个部位的变形不一样，变形毛坯内各质点的变形状态是不相同的。通常将质点的变形状态称为点的应变状态。一点的应变状态可用一个平

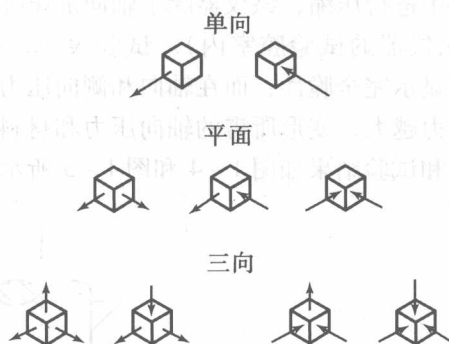


图 1-2 九种主应力示意图

行六面体来表示，每个面上有一个正应变、两个剪应变，一共有 9 个应变分量，经叠加刚性转动可使剪应变互等 ($\gamma_{xy} = \gamma_{yx}$, $\gamma_{yz} = \gamma_{zy}$, $\gamma_{zx} = \gamma_{xz}$)，则仅有 6 个独立的应变分量。正应变分量方向的含义是：箭头背向平行六面体，是拉伸应力，符号为正，则表示伸长变形；反之，箭头指向平行六面体，该应力为压缩应力，故符号为负，变形为压缩（收缩）；剪应变分量的作用是使平行六面体产生角变形。对同一点的应变状态，存在这样一个且仅有一个这样的坐标系，按该坐标系做平行六面体，则应变分量只有 3 个正应变分量，而无剪应变分量，那么称这 3 个正应变为主应变，称该坐标系为主坐标系，3 个坐标轴为主应变轴。

如果我们用主坐标系表示质点的应变状态，即单元体上仅有正应变，而无剪应变；换言之，仅承受拉伸或压缩，而无角变形。由于塑性变形中要满足体积不变条件，即 3 个正应变之和为零，因此，绝对值最大的主应变值应等于另两个主应变绝对值之和，但符号相反；也就是说，绝对值最大的主应变，永远与另外两个主应变符号相反。故可将应变状态大致分为三类：

一向伸长一向收缩、一向伸长两向收缩、一向收缩两向伸长，如图 1-3 所示。图中，最上面的应变状态是：一个主应变为零，另两个绝对值相等，符号相反，称为平面应变状态；第二行左边的应变状态是一向伸长两向收缩，即拉伸类；第二行右边的应变状态是一向收缩两向伸长，即收缩类。第三行仅为第二行的特例，左边的应变状态是一向伸长和两向相等的收缩，称之为简单拉伸；右边的应变状态是一向收缩和两向相等的伸长，称之为简单压缩。

三、应力状态对塑性变形的影响

应力状态对金属的塑性有很大的影响。从长期的实践中知道，同一金属在不同的受力条件下所表现出的塑性是不同的。例如，单向压缩比单向拉伸时塑性好些，挤压变形比拉拔变形时金属能发挥更大的塑性。最能清楚显示应力状态对塑性影响的是卡尔曼的大理石和红砂石试验。德国学者卡尔曼将圆柱形大理石和红